

大規模地下空洞の支保効果に関する三次元数値解析的評価

長崎大学大学院 学生員 ○杉野秀一 長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦
 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
 九州電力(株) 総合研究所 正会員 溝上 建 正会員 祐徳泰郎

1. 研究の背景と目的

近年、土地の有効利用あるいは環境問題などの視点から地下の利用が積極的に進められている。その中で、大規模地下空洞はその断面が大きくなるため安定性が低下し、また、支保構造も著しく大規模となる。このような大規模地下空洞の施工にあたっては、地山の变形などの力学的挙動を観察・計測し、その分析結果を設計・施工に反映させるいわゆる情報化施工が重要な役割を担うことになる。これにより適切な対策を施して、安全性、経済性の確保に努めることが可能になる。本研究では、大規模地下空洞の掘削に伴う周辺地山の力学的挙動を的確に把握するために、現場の地山特性および掘削過程を比較的忠実に考慮した三次元掘削解析モデリングを行い、安全性、経済性を確保し得る合理的支保設計の検討を目的とする。

2. 解析モデル

本研究では、深部における比較的堅硬な岩盤地山中に位置する大規模地下空洞を対象とし、断面形状は、幅 25m、高さ 50m の弾頭形である。解析モデルを図-1 示す。ここに示すモデルは節理や断層の影響を考慮した等価連続体三次元モデルであり、空洞断面の中心軸に対して左右対称となる。また、支保工としては、PS アンカーは、アーチ部で長さ 10m、側壁部で長さ 15m とし、ロックボルトは PS アンカーの間に、補助的部材として長さ 5m のものを打設する。掘削ステップについては、まずアーチ部を中央部掘削後、両端部(本研究では、左右対称であるため右側のみ)を経て、ベンチカットで本体部を切り下がる段階を組んでいる。

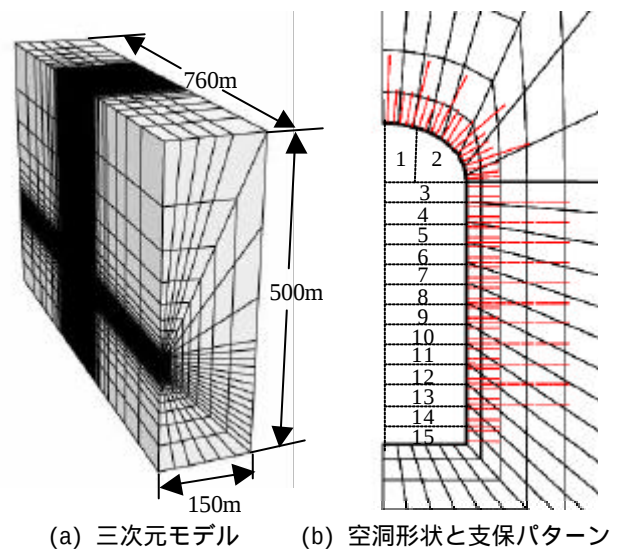


図-1 解析モデルの概要

3. 解析結果と考察

解析では、まず、無支保ベンチ掘削の Case1 を行い、支保工を打設する場合として、PS アンカーを同じ長さのロックボルトで代用した Case2 と、PS アンカーを考慮した Case3 を考えた。また、三次元的な比較検討を行うために、空洞延長方向において、中央部(Y0)とそこから 45m 奥(Y45)、そして、中央から 93m 奥の空洞両端付近(Y93)の 3 断面について考察する。

無支保の場合、本体部第 7 ベンチ掘削後からアーチ部天端の崩落が生じ、掘削高さが空洞幅 25m と同等になるまでは、空洞形状を維持することができたが、それ以降は、変位が加速し収束できなかった。

次に、支保を考慮した場合の空洞周辺地山変位の把握と

して、Case3 の空洞延長方向 3 断面における変位ベクトルを図-2 に示す。周辺地山の変位も含め、その中央(Y0)

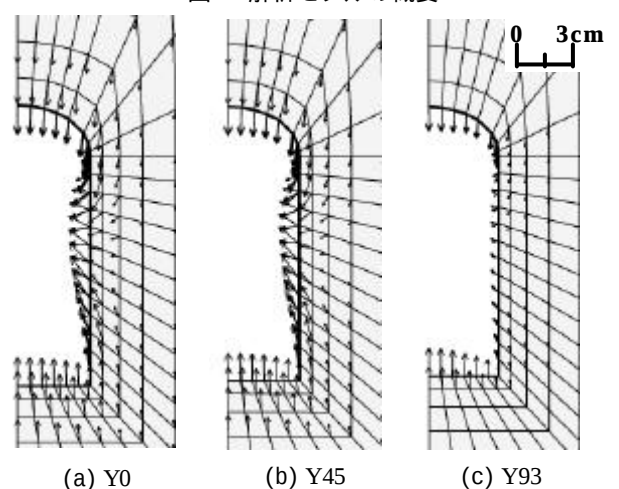


図-2 空洞掘削完了時の変位ベクトル(Case3)

キーワード：大規模地下空洞，三次元掘削解析モデリング，合理的支保設計

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1 番 14 号 長崎大学工学部 TEL 095-847-1111 FAX 095-848-3624

ほど内空変位が大きくなっているが、両端付近(Y93)のアーチ部周辺では変位があまり生じていないことがわかる。また、側壁の高さ方向では、その中央よりもやや上方で、内空変位ベクトルが最も卓越しており、側壁周辺およびアーチ部端近傍の地山の変位ベクトルもそこに向かって生じている。

次に、Case2とCase3の比較として、全断面掘削完了時におけるアーチ部と側壁部の内空変位を図-3にまとめる。アーチ部、側壁部ともに、空洞延長方向中央に向かうほど内空変位が増加している。また、支保工を打設したことにより、無支保と比べ、約90%の変位を抑制することができた。また、PSアンカーの打設効果によりCase2と比べて、変位を約30%抑制することができた。ここで、側壁部の第4ベンチレベル付近で最も変位していることから、そのレベルにおいて、ベンチ掘削経過に伴う空洞延長方向に沿う内空変位の進展履歴を調べた(図-4)。1つ前の段階である第3ベンチと第4ベンチ掘削完了までは変位がほとんど生じていないのに対し、次の第5ベンチ掘削後から変位が増加しはじめ、アーチ部と同様に、延長方向においても中央100m程度範囲の変位がほぼ均等に増加し、全断面掘削終了時には内空への水平変位が最大に達する。これは、アーチ部中央の内空変位の進展履歴についても同様の特徴が得られた。

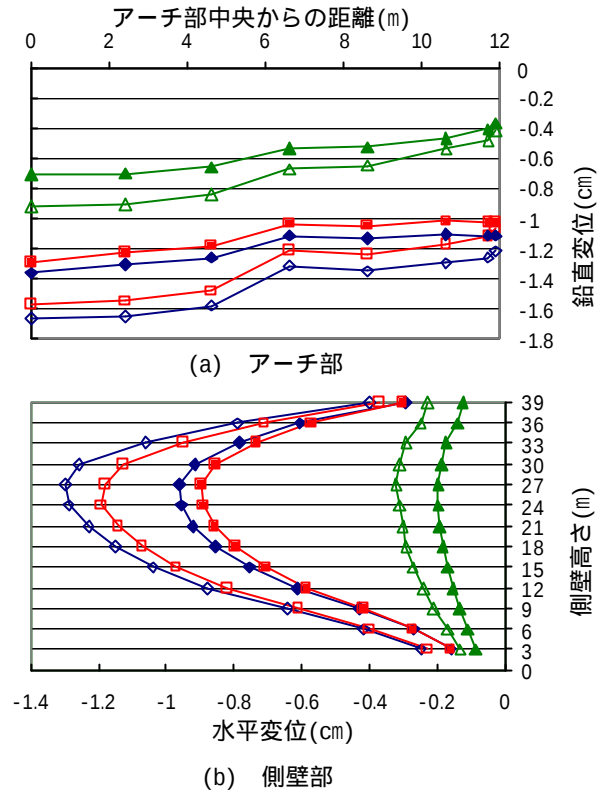
次に、Case3の空洞掘削完了時における周辺地山の塑性領域分布を図-5に示す。側壁部において最も大きい内空変位を示した第4ベンチレベル付近に広い分布が見られる。また、Case3でPSアンカーを打設することにより、Y0とY45の断面においては、側壁部の中央から下部にかけて塑性領域の広がりが抑制されている結果が得られた。しかし、空洞延長両端(Y93)ではその違いがほとんど見られず、この範囲におけるPSアンカー打設の効果はあまり期待できないと考えられる。

4. 支保工の合理的設計の提言

現在、一般に用いられている支保パターンとしてはアーチ部、側壁部とも、延長方向において同じ打設配置が組まれている。そこで、比較的安定している空洞延長方向両端部と側壁の下方部では、

- 1) PSアンカーを用いずにロックボルトで代用する
 - 2) PSアンカーの長さを短くする
 - 3) ケーブルの打設間隔を疎にする
- などの対策が考えられる。

また、空洞掘削過程の途中、内空変位の増加が著しい空洞延長方向中央付近および側壁部第4ベンチレベル付近については、それらの範囲を計測し、地山の挙動を的確に把握することにより合理的施工を実現することができると考えられる。



	Y0	Y45	Y93
Case2(ロックボルト)	—○— R0	—□— R45	—△— R93
Case3(+PS アンカー)	—●— P0	—■— P45	—▲— P93

図-3 全断面掘削完了時における内空変位

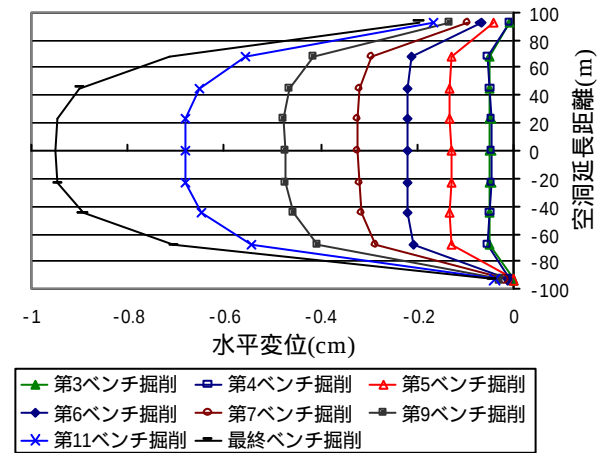


図-4 側壁部第4ベンチレベルの内空変位履歴(Case3)

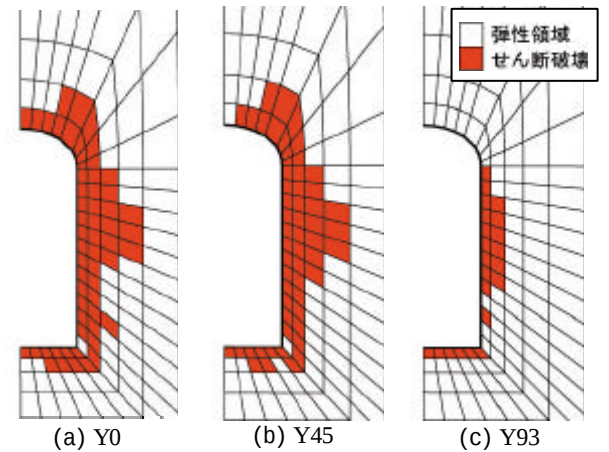


図-5 空洞掘削完了時の塑性領域分布(Case3)